

氏 名	高 梨 清 一
生 年 月 日	
本 籍	千葉県
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博乙第150号
学位授与の日付	平成9年9月30日
学位授与の要件	論文博士（学位規則第4条第2項）
学位授与の題目	海洋構造物の波浪中挙動の予測に関する研究
論 文 審 査 委 員	（主査）石田 啓 （副査）上野 久儀, 川村 満紀, 北浦 勝, 前川 幸次

学位論文要旨

A study on predicting the behavior of a offshore structure in waves

This paper deals with predicting the behaviors of offshore structures in waves.

Wave force is considered most significant and critical in those external forces, such as wave, wind and tidal current, which should be taken into account in designing a offshore structure. Consequently, the study reported herein has been made in relation to:

- Investigation on water tank test methods of semi-submersible floating structure in waves.
- Investigation on a methods of numerical analysis of the fluid dynamic force acting on arbitrarily shaped floating body in regular waves, and estimation of behaviour of floating structure in waves.
- Investigation on a method of full scale measuring of a semi-submersible offshore structure.
- Investigation on a new statistical technique applied to predicting the dynamic characteristics of a offshore structure.
- Investigation on a method of measuring in full-scale aboard the vessel moored at a port under a stormy weather condition.
- Investigation on safety in mooring a vessel for refuge.
- Investigation on chaotic vibrations of a cylindrical pillar in regular waves.

The behavior of a semi-submersible offshore structure was measured and calculated by a modified water tank test method and by a numerical calculation

technique. And results involved were found to agree well with the ones measured in full scale. From this, it was gathered that the water tank test results and those of numerical calculations showed enough accuracy in prediction.

The behavior of a moored vessel in full scale was measured by two different methods at a time and found to agree well with each other. Thus, it has been proven that the measuring methodology is justifiable enough. Based on the measured data involved, the accuracy of the calculated result of a simulation program was verified. The program was in turn used to make a case study on a vessel moored in the port of Tokyo for refuge from a typhoon.

To generate a chaotic vibration, regular waves were generated to act on the cylindrical pillar supported by means of the spring having a nonlinear reaction characteristic. And the chaotic vibration so generated was reviewed theoretically and experimentally. Considering that both experimental and theoretical results obtained were found to agree with each other, there seem to be possibilities that the generation of a chaotic vibration may be theoretically predictable.

第 1 章：序論

沿岸域では防波堤、棧橋、荷役設備その他の港湾施設、あるいは海上空港等はこれまで殆ど埋立方式で造られてきた。しかしながらその結果、湾内に閉鎖水域が増え、水質の悪化が問題になっている。その問題を解決する手段の 1 つとして浮体式構造物あるいは脚柱式の着底構造物が最近改めて注目されてきている。

一方、外洋では洋上石油生産施設、各種観測施設等、いずれも厳しい海象条件のもとで安全に、かつ効率的に稼働出来る浮遊式構造物が求められてきている。

構造物に作用する風、波、潮流の 3 つの外力の中で波浪外力は構造物の局所および全体強度を検討する上でも特に重要と考えられる。海洋構造物実機の波浪中運動応答特性および構造部材応力応答特性を高精度で予測出来ればその安定性（安全性）、稼働効率、構造部材の疲労強度等が推定出来、適正かつ効率の良い設計が可能となる。

本論文ではこの事から海洋構造物の波浪中挙動の予測について次のような研究を実施した。

- ・ 小型模型による浮遊式構造物の規則／不規則波浪中での挙動計測実験方法の検討
- ・ 任意形状構造物の規則波中流体力の数値解析法とそれを用いた運動性能推定法の検討
- ・ 実海域での波浪中運動応答、構造部材応力応答に関する実船実測法の検討
- ・ 不規則波浪中での構造物の挙動計測データによる新しい動特性推定方法の検討
- ・ 係岸避泊中の船舶に関する風、波、係留索張力、船体運動の実測法の検討
- ・ 上記結果をもとにした、係船避泊船舶の挙動シュミレーションプログラムの推定精度検証、およびそのプログラムを用いた係船避泊のケーススタディ実施
- ・ 着底部分にガタが生じて発生するカオス振動に関する理論的、実験的検討、および数値解析による振動モード予測の可能性に関する調査

第 2 章：半没水式海洋構造物の波浪中試験法について

複雑な構造の海洋構造物に関して理論計算による推定精度はまだ十分に確認されていない部分があり、理論計算結果と模型試験結果の比較検討が必要である。また、ロールダンピング等、実験で得られた非線形影響データを用いる事で計算精度の向上を図る必要がある。さらに不規則波中での挙動など現在の理論計算では十分にカバーしきれない現象が多く、それらについては実験以外に適切な調査方法がない。以上が海洋構造物に関する水槽実験の必要性に関する理由である。試験結果を迅速に設計にフィードバックするため、試験及びその解析は能率の高いシステムでなければならない。従来の船舶に比べ、格段に高い推定精度が要求される Semi-sub については、再現性のある高い精度の計測方法の確立が大きな課題である。

第 2 章では半没水型海洋構造物 (Semi-Sub) について、最も重要な波浪中試験法を中心に小型模型実験による効率的で信頼性の高い海洋構造物の実機性能推定方法について、開発した成果をとりまとめた。

水槽水深の管理、供試模型の軽量化、重心位置、環動半径調整法の開発、試験方法のルーチン化、解析の自動化を行った結果、信頼性のある試験結果を迅速に設計にフィードバックする事が出来、構造物の運動性能向上に寄与する事ができた。

第 3 章：任意形状浮体の規則波中の流体力に関する数値解析と運動推定

海洋構造物の運動を理論的に推定するためには、その構造物まわりの流体力を推定する必要がある。

海洋構造物の形状は一般に船舶より複雑なため、ストリップ法などの実用計算法が適用出来ない場合が少なくない。3 次元的に任意の形状の浮体に適用できる方法としては有限要素法、領域分割法、さらに境界積分法、特異点分布法がある。有限要素法は無限遠方で課せられる「放射条件」を取り入れる所に困難があり、領域分割法は複雑な形状の領域分割が難しく、特異点分布法は計算時間がかかり過ぎるという問題点がある。

これに対し境界積分法（グリーン関数法）は比較的計算時間が少なくて済み、3 次元的な解法が必要な海洋構造物の解析法としては優れていると考えられる。

この事から第 3 章では任意形状の浮体にも対応し得る実用的な数値解析法としてグリーン関数法を導入し、その流体力計算法を検討した。

グリーン関数法を用い、その精度確認のため、矩形浮体モデルについてポテンシャル接続法の選点解法と波力と動揺について比較計算した所、良い一致性を示し、計算結果の信頼性は高い事がわかった。

第 4 章：半没水式海洋構造物の実船計測法およびその解析、評価方法

水槽試験は縮尺モデルを使用し通常、実船状態とフルード数を合わせた波浪条件のもとで実施される。しかしながら、粘性影響の大きなものはレイノルズ数を合わせなければその挙動を正しく推定出来ない。大略フルード則に則ると仮定して実施した水槽試験による性能推定結果も、実船試験でその推定精度を確認する必要がある。

また、理論計算結果も実船試験結果とつきあわせる事でその推定精度を確実に把握しておく必要がある。これらによる性能予測値をもとに実施される設計の信頼性向上に大きく関係するからである。

構造物の波に対する動揺応答特性を調査する場合、波浪計測法が非常に重要である。第4章では波浪計測法を含め、半没水型海洋構造物（セミサブ）の実船試験法の検討およびその結果と水槽試験結果および理論計算結果による実機性能予測値との比較を行った。

既往の文献等を調査した結果、計測結果の精度には入射波浪の計測方法が大きな影響を及ぼし、入射波とそれによる構造物の応答（動揺）との相関が強い状態で計測を行う必要がある事がわかった。このことから、本実測では、船載型の電波式波高計を初めて採用した。

その結果、実船計測で得られた構造物の波に対する Heave、Pitch、Roll の動揺応答特性およびブレーシング応力応答特性は、理論計算あるいは小型模型の水槽実験による推定値と良く一致し、これらによる推定の精度が充分である事がわかった。

第5章：新しい統計的手法の海洋構造物、動特性推定への応用

海洋構造物の挙動に関する不規則波中での水槽試験結果、あるいは実海面での実船試験結果のスペクトル解析は通常 Blackman-Tukey (B-T)法あるいは Fast Fourier Transform(FFT)法で行われる。B-T 法あるいは FFT 法はデータから得られる自己相関関数あるいはペリオドグラムからスペクトラムを求める方法である。短いデータを解析する場合、B-T 法ではラグ数の決定が難しい。ウィンドウの選択にも充分留意する必要がある。また、FFT 法についても B-T 法と変わらない平滑化を行わなければならないが、一般的にフィルター選択の検討が難しい。

少ないデータ量でも推定精度、分解能の高い動特性推定法が求められる。

時系列データの構造を表わす統計モデルをまず作り、計測されている時系列データは、本質的にはこのモデルに従った挙動を示すものとして、そのモデルからスペクトルを推定する新しい方法がある。

このモデルを選択する際、時系列データの構造に合わせるためにパラメータの値を調整する事から、この方法をパラメトリックな方法と言う。この方法によれば、適切なモデルを選択する事により、少ないデータ量でも高い推定精度の結果が得られる可能性がある。第5章では、このパラメトリックな方法について検討した。

実船計測データ、水槽試験データを用いて波浪中の応答特性を検討した結果、スペクトル、振幅、位相特性、コヒーレンス関数のいずれも従来方法よりなめらかな推定結果が得られており、特に周波数により振幅特性が大きく変化している場合には、従来方法より良い推定精度が得られている事がわかった。

第6章：船舶の岸壁係留時の挙動に関する実測

主要港湾では台風時等の避泊水域が不足しつつあり、台風時港内係船避泊の実現化が望まれている。波浪が低減されている港内での主要外力は風である。上屋等の遮風構造物で船体に作用する風圧力を低減する手段を講じる事がその実現化の条件と考えられる。壁面、上屋等の遮風効果については模型実験によりその効果が示されている。しかしながら実機スケールでのこ

れらに関する検証例は少ない。第6章では強風時に上屋等の遮風効果を利用して岸壁係留している船舶に関して実施した実機計測についてとりまとめた。

主な結果は次のとおりである。

- ・ポテンショメータを利用した実機計測システムを試作し、船体動揺、および係留索張力の時系列計測データを風向風速データとともに得る事が出来た。
- ・船体動揺の計測精度はビデオシステムによる別の計測方法による結果と良く一致していた事で、十分なものである事が確認出来た。
- ・船体位置での平均風速は、接近風速の2～4割に低下しており、上屋による遮風効果はある事が実機スケールで確認出来た。

第7章：船舶の係船避泊の安全性

第6章で得られた岸壁係留船舶の実機計測結果と、別途実施した遮風効果に関する風洞実験結果とを用い、岸壁係留船の挙動シミュレーション計算の精度を検討した。次にこのシミュレーション計算プログラムを用いて東京港の係船避泊可能と思われるバースについて、係船避泊のケーススタディを実施した。

第6章の実機実測の追算シミュレーション計算結果と実測値は比較的良く一致しており、推定精度には信頼性がある事がわかった。これらの結果をもとに、東京港のお台場ライナー埠頭での再現確立20年の台風時係船避泊のケーススタディを行った所、充分安全であり、実現性は高い事がわかった。

第8章：規則波による柱体のカオス振動に関する研究

浮遊構造物や脚注式構造物が波浪を受けて振動する時、係留系の遊び或いは構造物埋込部のガタ等により、作用する波が規則的であっても構造物に不規則な振動が生じる場合がある。非線形システムで一般的に見られるこのような不規則振動はカオス振動と呼ばれる。第8章では、非線形反力特性を持つ地盤に支持された脚柱構造物に規則波が作用した場合を想定し、ガタのあるバネに支持された倒立振子のモデルを用い、その波浪中挙動について、理論的、実験的に検討した。その結果次の事がわかった。

- ・2つのアトラクターを持つ非線形な剛性反力特性の円柱に規則波が作用する場合、作用する波力の変化に対応してカオス振動が発生する領域と消滅する領域が存在する事が理論および実験の両面で確認された。
- ・このときの実験結果と計算結果は、スペクトル図および位相図において比較的良く一致した。この事から、数値計算によりカオス発生を予測出来る可能性があると考えられる。
- ・周波数0.5Hz、および1.0Hzでの理論計算によるポアンカレ図で鮮明なストレンジアトラクターが得られた。

第9章：結論

海洋構造物の波浪中挙動の予測法について研究を実施し、次のような成果を得た。

- ・半没水式海洋構造物の波浪中試験・解析法の開発を行った。水槽水深管理、供試模型の軽量化、重心、環動半径調整法の開発、計測手順のルーチン化、解析の自動化を実施した結果、再現性（即ち信頼性）のある試験結果を迅速に得る事が出来る様になった。
- ・任意形状の構造物の浮体の流体力計算法として計算時間が短かくて済むグリーン関数法を導入した。この計算精度確認のため、同じ矩形浮体モデルについてポテンシャル接続法の選点解法と、波力と動揺について比較計算を行った。その結果、良い一致を示し、充分な推定精度がある事がわかった。
- ・半没水式海洋構造物の実船計測を実施した。船載型の電波式波高計により、船体運動との相関の強い状態で入射波を計測し、波浪中動揺応答解析を行い模型実験結果、推定計算結果と比較した所良い一致性を示し、相互の結果の信頼性が確認出来た。
また、少ないデータでも高い推定精度が得られる特性を持つパラメトリックな方法によるスペクトル解析手法を導入し、上記データ等を用いて解析精度を検討した。その結果、従来方式（B・T法、FFT法）より良い推定精度が得られる事がわかった。
- ・岸壁係留船に関する新しい挙動実測法を考案した。別方法との同時計測を行い、両者の結果が一致した事からその計測精度の信頼性を出来た。この計測結果を用いてシミュレーションプログラムで追算を行い、プログラムの推定精度を確認した。ついで、このプログラムで岸壁上屋の遮風効果を利用した台風時港内避泊係留船のケーススタディを東京港の岸壁について実施し、実現性が充分ある事を確認した。
- ・ガタのあるバネで支えられた柱体に規則波を作用させた場合のカオス振動発生について、理論的、実験的に検討した。実験値と理論値との一致性が比較的良い事から、理論によるカオス振動の予測がある程度可能である事がわかった。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に対し、平成9年6月24日に第1回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文および関連資料について検討するとともに、面接審査を併せて行った。8月7日の口頭発表後、第2回審査委員会を開催し、以下の通り判定した。

本研究は、船舶を含む海洋構造物の安全設計と高効率稼働を目的とし、これらの構造物に作用する風、波、潮流などの外力による挙動の予測に関する研究を行ったものである。まず、半没水式海洋構造物（オイルリグ）の小型模型を用いた水槽実験の結果より、試験方法や構造解析などに関し、高精度で再現性の高い計測・解析システムを確立し、さらに、任意形状浮体の解析方法を考究すると共に、製造された実際のオイルリグを用いて、動揺や部材に生じる応力を計測することにより、解析方法の妥当性を検証している。また、計測データの解析に際し、少ないデータ量でも高精度の性能推定が可能となる統計的解析手法を新たに考案している。

次に、港内の岸壁係留船舶の挙動特性を実測することにより、港内の上屋などの遮風効果を利用する船舶係留に関するシミュレーション計算プログラムの開発を行い、安全係留の問題に貢献している。最後に、カオス振動の発生を検討し、ガタのある振動系でのストレンジアトラクターの発生を実験と理論から確認し、不規則振動の発生機構に新たな知見を提供している。

本研究成果は、今後の海洋構造物の波浪中挙動の予測のに関する研究に資するところ大であり、博士（工学）論文として十分に値するものと認定する。